

令和元年6月11日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07569

研究課題名(和文)ダンチクの光合成、物質生産の環境ストレス耐性

研究課題名(英文) Environmental stress tolerance of photosynthesis and dry matter production in an energy crop giant reed(Arundo donax L.)

研究代表者

和田 義春 (Wada, Yoshiharu)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：80201268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ダンチクは湛水条件下で純光合成速度の低下がなく、イネ並みの高い耐湿性を持つことが判った。湛水条件下でダンチクの根に破生通気組織の形成が認められた。土壌水ポテンシャルが $-0.1\text{MPa}$ に低下するとダンチクの純光合成速度は低下し始め、ダンチクの耐旱性はソルガムより低かった。ダンチクは約 $300\text{mMNaCl}$ まで純光合成速度を維持したことから、塩害に比較的強いとされるオオムギよりも高い耐塩性を有することが判った。塩条件下でダンチクはNaを吸収したが、吸収したNaは主に根と根茎にとどまり地上部への移行は少なく、茎葉部のNa含量は低く保たれた。ダンチクの茎基部には塩ストレス下でデンプン粒が蓄積していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国の畑地は、早ばつの被害を受けるとともに湿害の発生も多い。また、近年多発してきている地震による津波や台風の大型化に伴う高潮などによる塩害地も増加してきている。本研究でダンチクは高い耐湿性と耐塩性を有することが判明し、湿害や塩害の発生する食用作物栽培の不適地でエネルギー作物ダンチクを栽培することが可能であると判断された。また、畑作物の湿害回避機構として提唱されている根における通気組織形成能の重要性が確認された。また耐塩性の機構として、ダンチクは根で吸収した塩を地上部に移行させないメカニズムを持つことが判明したので、今後その生理的、分子的、遺伝的解明が期待される。

研究成果の概要(英文)：Giant reed (*Arundo donax* L.) had very high flooding tolerance as rice plant. Aerenchyma tissue was observed in giant reed roots under flooding conditions. Giant reed had a little lower drought tolerance than sorghum. Giant reed survived under  $300\text{mM NaCl}$ , had higher salt tolerance than barley. Giant reed absorbed Na under the saline conditions, however Na stayed mainly in roots and rhizome. Na contents of above ground parts, especially leaves kept low under the saline conditions. Starch granules produced in the shoot base of giant reed under the saline conditions.

研究分野：作物生産科学

キーワード：ダンチク 光合成能力 *Arundo donax* L. 耐湿性 耐旱性 耐塩性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球人口は 70 億を超え今後も増加が予想され、食料およびエネルギー消費量の増大に応える必要があり、食用作物の多収化や高いバイオマス生産を持つ資源作物の開発が必要である。このためには、作物の光合成能力の向上と光合成機能の環境耐性の強化が必要である。ダンチュク(*Arundo donax* L.)は、 $C_3$ 型光合成を行う植物の中で 20~30t/ha の極めて高いバイオマス生産をもつとされ(Lewandowski *et al* 2003)、最近ヨーロッパ特に地中海地方でセルロース系バイオエタノール原料作物として注目されている(Angelini *et al* 2004, Cosentino *et al* 2005)。ダンチュクは沿岸部に群落を形成することから、湿害や塩害に強い性質を持つ可能性がある。バイオマスエネルギー作物には、食用作物の栽培に不適な土地での栽培が期待され、高いバイオマス生産能力と不良環境適応性が求められる。この点からダンチュクの高い光合成機能およびその耐塩性や耐湿性の評価と関与する要因の解析が求められる。

### 2. 研究の目的

本研究ではエネルギー作物であるダンチュクの耐湿性、耐旱性、耐塩性の程度を明らかにし、食用作物栽培の不適地である湿害や早ばつ害、塩害の発生する場所でエネルギー作物ダンチュクの栽培可能性について検討するとともに、作物へのストレス耐性付与に寄与する形質の解明を目指す。耐湿性は湿害に強い作物であるイネと比較する。耐湿性のメカニズムとして根における破生通気組織の形成の有無を調査する。耐旱性は早ばつに強い作物であるソルガムと比較する。耐旱性のメカニズムとして葉の水ポテンシャルと浸透ポテンシャルの変化から解明し浸透調整能力について検討する。耐塩性は塩害に比較的強い作物とされるオオムギと比較する。耐塩性のメカニズムとして、塩条件下での塩( $Na^+$ と $Cl^-$ )の吸収と体内移行を調査するとともに他の養分吸収への影響を解明する。

### 3. 研究の方法

(1) 土壌水分耐性は、ダンチュクの国内系統「口之津」と欧州系統「サンディエゴ」を供試し、湿害処理は、ポットに栓をして湛水状態とした。早ばつ処理は、土壌水分計(5TE, DECAGON)を深さ 10cm に設置し、圃場要水量から灌水を停止して実施した。耐湿性と耐旱性の指標として見かけの光合成速度( $P_n$ )(LI-6400, LI-COR)と葉緑素値(SPAD502, MINOLTA)の推移を調査した。耐湿性のメカニズムとして根の破生通気組織の形成を調査した。耐旱性については、葉の水分状態について調査した。葉の水ポテンシャル( $\Psi_w$ )はプレッシャーチェンバー法(PMS)、浸透ポテンシャル( $\Psi_s$ )はサイクロメーター法(CF52, WESCOR)を使用した。

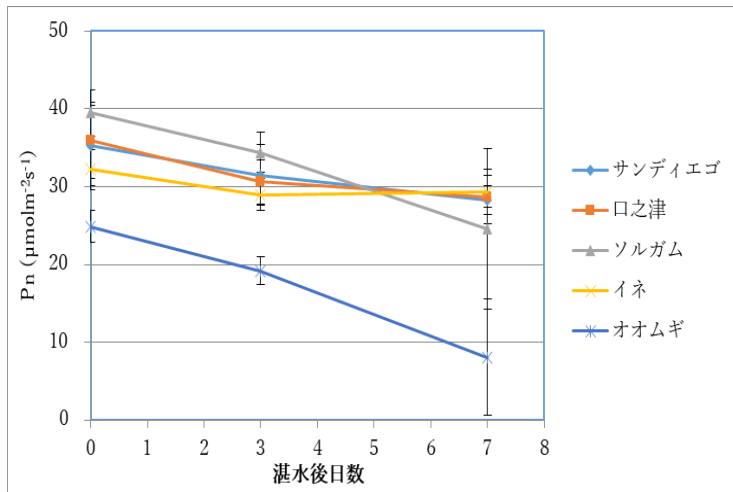
(2) 耐塩性は、ダンチュクの国内系統「口之津」と欧州系統「サンディエゴ」を供試し、比較対照としては耐塩性が比較的高いとされる作物であるオオムギを供試した。塩処理は、ポット土耕栽培で 3% 食塩水の灌水量を 0~12L に変化させ異なる土壌塩分とした。土壌塩分濃度は、最終排水の塩分濃度を EC センサー(5TE, DECAGON)で測定して推定した。耐塩性の指標として  $P_n$  と葉緑素値の推移を調査した。さらにダンチュクが耐えられる塩分濃度を明らかにするためにダンチュクの水耕系を作成し、一定の塩分濃度条件で調査した。ダンチュクの耐塩性のメカニズムとして、 $Na^+$ はじめ陽イオンおよび陰イオンである  $Cl^-$  の吸収と体内移行を調査した。本測定には土耕栽培した植物を用い、塩処理は 3% 食塩水を 5L 灌水することにより行い、イネとオオムギはそれぞれ枯死した処理後 2 日目と 5 日目に、ダンチュクの 2 系統は処理後 7 日目にサンプルを採取し、水洗後、根、根茎、葉鞘と茎および葉身に分け、80℃ で乾燥した後、粉碎した。陽イオンは 1N 塩酸で抽出した後、原子吸光法(Z-2310, 日立)で測定し、陰イオンは 60℃ の熱水抽出し、イオンクロマトグラフィー(Dionex ICS-1600, Thermo Fisher Scientific)で測定した。

### 4. 研究成果

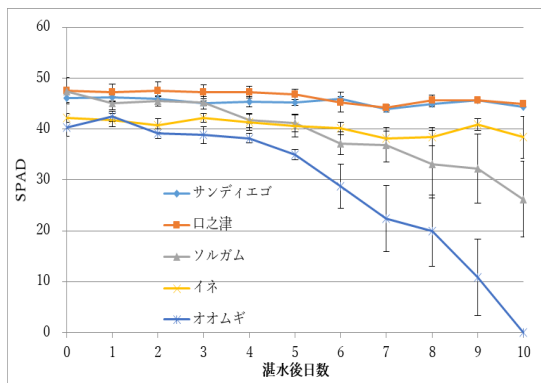
#### (1) 耐湿性

オオムギは湛水後  $P_n$  が低下し、ソルガムは湛水後 7 日間  $P_n$  の低下は小さかったものの葉緑素値が低下した。一方、イネとダンチュクの 2 系統は湛水後 7 日間  $g_s$ 、 $P_n$  および葉緑素値の有意な低下がみられず、ダンチュクはイネと同様耐湿性が極めて高いことが判った。ダンチュクの根には、イネ同様湛水下で破生通気組織の形成がみられた。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)



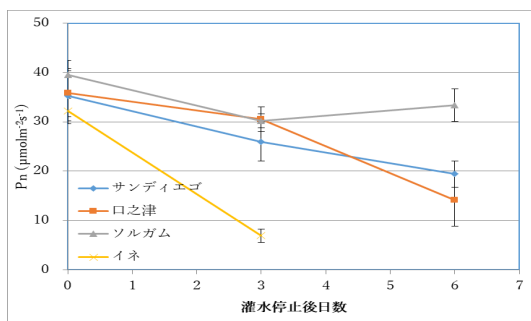
第1図 灌水条件下における各供試植物のみかけの光合成速度 (Pn) の推移。



第2図 灌水条件下における各供試植物の葉緑素値 (SPAD) の推移。

(2) 耐旱性

灌水停止後、土壌水ポテンシャル ( $\Psi_{\text{soil}}$ ) が  $-0.1\text{MPa}$  に低下すると、ダンチュクの2系統とも Pn の低下が始まった。同条件でソルガムは Pn の低下がみられなかったことから、ダンチュク葉の光合成の耐旱性は、ソルガムよりは弱いと判断された。ダンチュクは、灌水停止7日目の  $\Psi_{\text{soil}}$  が  $-0.12\text{MPa}$  まで低下しても葉緑素値が低下せず生存していた。対照植物であるイネやソルガムは灌水停止後  $\Psi_w$  が低下したが、ダンチュク葉身の  $\Psi_w$  は低下が小さかった。この間  $\Psi_s$  は変化せず、明瞭な浸透調節は見られなかった。



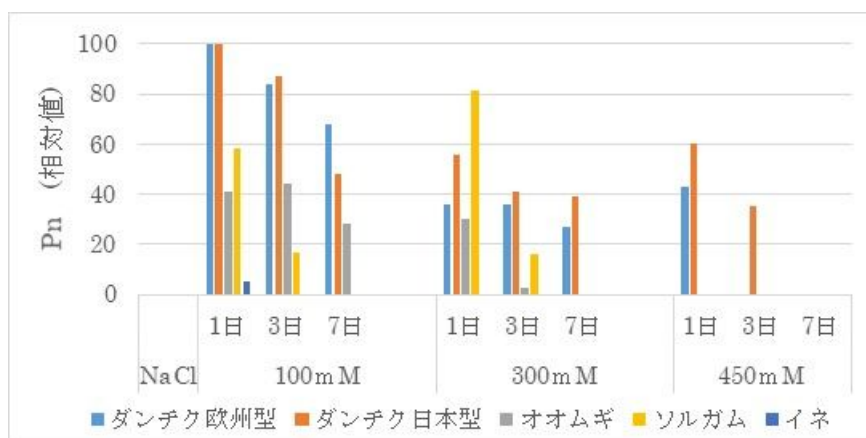
第3図 灌水停止後の各供試植物の光合成速度 (Pn) の推移。

(3) 耐塩性

土耕栽培で 3%NaCl 灌水量を変えて塩分処理をした結果、イネは土壌溶液の塩分濃度約 100 mM で1日目に Pn がほぼ 0 まで低下し、オオムギとソルガムも 300mM では7日で 0 となったが、ダンチュクの2系統は 300mM では7日目にも対照の 30~40% の Pn を維持した。しかし、450mM では欧州系統「サンディエゴ」は3日目に、日本系統「口之津」も7日目には Pn が 0 まで低下した。以上のことからダンチュクは海水の 1/2 程度の約 300mM まで Pn を維持できると判断された。この点をさらに検討するため、ダンチュクの水耕栽培を検討し、切り出した地上部の節から shoot を再生させ、水挿しで発根させることにより均一な個体を作ることができた。この水耕系でダンチュクが耐えうる塩濃度を調査したところ、ダンチュクの日本系統も欧州系統も 500mM NaCl では5日で枯死したが、300mM では生存できる個体があることが判り、ダンチュクの耐えうる塩濃度は海水のおよそ 1/2 であることが確認された。

ダンチュクの耐塩性のメカニズムについて、300mM NaCl 処理7日後の  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  および他の

イオンの吸収と体内移行を調査した。オオムギやイネでは、塩処理後地上部の葉身や葉鞘と茎の Na 含量が著しく高まったのに対して、ダンチュクは地下部の根および根茎（ライゾーム）中の Na 含量は高まるものの、地上部の葉身や葉鞘と茎中の Na 含量は、欧州系統「サンディエゴ」ではほぼ 0、日本系統「口之津」でも低く保たれていた。以上のことから、ダンチュクは塩条件下で根から Na を吸収するものの、地上部への Na の移行が阻害され、葉身や茎の Na 含量が低く保たれていることが判った。ヨシ（*Phragmites australis*）では塩ストレス下で茎基部にデンプン粒が蓄積し、Na がデンプン粒に吸着されて地上部に行かないことが報告されているが（Kanai *et al* 2007）、本研究で供試したダンチュクの 2 系統でも 300mMNaCl 条件下で茎基部にデンプン粒が形成されることが観察された。対照植物のイネやオオムギでは塩処理下で Na<sup>+</sup>吸収が増えるにしたがい K<sup>+</sup>の吸収が著しく阻害され、オオムギでは Ca<sup>2+</sup>や Mg<sup>2+</sup>の吸収が増加するなど塩処理下で他の養分吸収が大きく影響されたが、ダンチュクの 2 系統とも 300 mMNaCl 条件下で K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>の吸収に有意な変化は見られなかった。対照植物のイネやオオムギでは塩処理下で Na<sup>+</sup>吸収が増え、地上部の葉身や茎の Na<sup>+</sup>含有率が高まるにつれ K<sup>+</sup>含有率の低下がみられたが、ダンチュクでは葉身や茎の Na<sup>+</sup>含有率が低く保たれており、また K<sup>+</sup>含有率に影響がないことが分かった。Cl<sup>-</sup>含有率についても、Na<sup>+</sup>同様、ダンチュクでは塩処理下で根や根茎中の Cl<sup>-</sup>含有率は高まるものの地上部の葉身や茎の Cl<sup>-</sup>含有率は低く保たれることが分かった。また、塩処理下でダンチュク葉身や茎の Na<sup>+</sup>含有率は Cl<sup>-</sup>含有率よりも低いことが明らかとなった。このことは、ダンチュクにおいては塩処理下で Na<sup>+</sup>や Cl<sup>-</sup>の地上部への移行が阻害されていると同時に、地上部から Na<sup>+</sup>の排出が行われている可能性を示唆した。

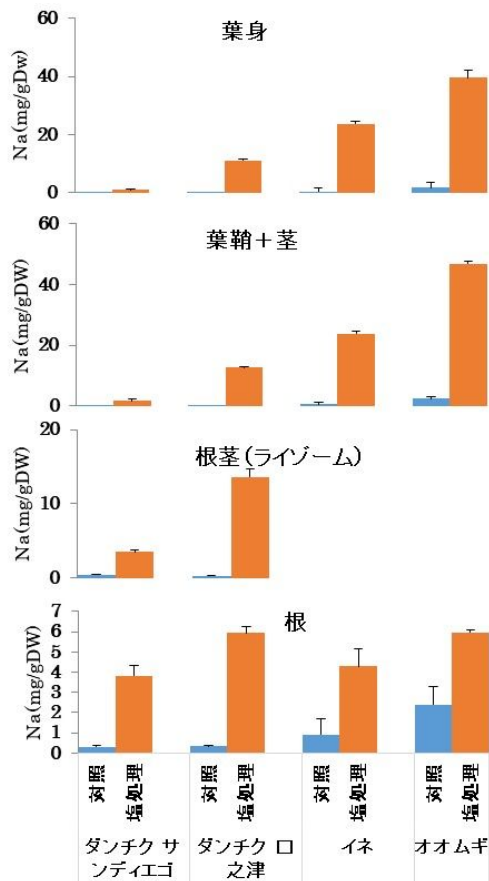


第 4 図 塩処理後の Pn の推移。

第1表 300mM NaCl処理による各種イオン吸収量の増減（mg/gDW）。

	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
ダンチュク欧州系統	2.2	2.2	0.9	-0.2	0.03
ダンチュク日本系統	13.4	9.4	-0.3	0.6	0.06
オオムギ	20.1	18.3	-70.6	6.9	6.4
イネ	22.1	26.3	-45.2	2.6	-1.2

赤字はマイナスを示す。



第5図 器官別 Na 含量 .

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

和田義春、高溝正、小林真、岩出早綾、今野雄平、2018 . ダンチク (*Arundo donax* L.) の塩ストレス下における陽イオンと陰イオンの吸収並びに体内移行について、日本作物学会第246回講演会、2018年9月6日、北海道大学 .

和田義春、小野隆緒、高溝正、小林真、2017 . ダンチク (*Arundo donax* L.) の土壌水分耐性の評価、日本作物学会第244回講演会、2017年9月14日、岐阜大学 .

和田義春、高溝正、小林真、岩出早綾、吉野健太、2017 . ダンチク (*Arundo donax* L.) の耐塩性に関する研究 高塩分条件下における Na の吸収と体内移行、日本作物学会第243回講演会、2017年3月29日、東京大学 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年：  
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。